

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ СТРУЙНО-ФАКЕЛЬНОГО НАГРЕВА В НЕФУТЕРОВАННЫХ АГРЕГАТАХ

Тихонова В.Р., Филатов А.В.

ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический
университет МИСиС», г. Москва, Россия

В настоящей работе проводилось моделирование двух вариантов подачи окислителя в рабочую зону нефутерованного цилиндрического калориметра в среде программно-вычислительного комплекса FloEFD. Для каждого из вариантов построены трехмерные модели с помощью специализированного пакета программного обеспечения PTC Creo 2.0. Были рассмотрены и подвергнуты сравнению варианты с различным шагом отверстий на перфорированной поверхности, через которую производится подача окислителя. Приведены значения температур и плотностей тепловых потоков на поверхности нагреваемого элемента, а также поля распределения температур и скоростей в рабочем пространстве агрегата. Изложены предположения и пояснения авторов относительно характера распределения газовых потоков в рабочем пространстве установки. Сделаны выводы о целесообразности выбора одной из схем исходя из некоторых специфических требований к агрегату.

Ключевые слова: численное моделирование, струйный нагрев, коэффициент теплоотдачи, конвективная теплоотдача, конвективный тепловой поток, поля температур, струйно-факельный нагрев.

In this paper the simulation of two variants of oxidant supply to the working space of a non-enwall cylindrical calorimeter by using the software and computing complex FloEFD were carried out. Using a specialized software package PTC Creo 2.0, three-dimensional models for each of the variants were built. Variants with different holes pitch on the perforated surface through which the oxidant supply is performed were considered and compared. Values of temperatures and heat flow densities on the surface of the heated element, as well as the fields of temperature and velocity distribution in the working space of the unit are shown. Authors' assumptions and explanations about the nature of distribution of gas flows in the working space of the unit are shown. Conclusions about the advisability of selection of one of the schemes based on some specific requirements for the unit are made.

Keywords: numerical simulation, inkjet heating, heat transfer coefficient, convective heat transfer, convective heat flux, fields of temperatures, jet-torch heating.

На сегодняшний день многие отрасли промышленности (например, газовая и нефтехимическая) предъявляют высокие требования к таким изделиям, как трубы с различными полимерными покрытиями. Это в полной мере относится не только к материалам, из которых производится подобная продукция, но и к технологии ее производства.

Ключевыми параметрами в таких условиях становятся не только обеспечение высокой равномерности нагрева изделия перед нанесением покрытия на поверхность, но и высокая производительность и энергоэффективность применяемых для нагрева установок. Сочетание же всех трех перечисленных характеристик в одном агрегате является непростой инженерной задачей.

Как правило, технологическая линия производства труб с полимерной изоляцией располагается в небольших цехах с высокой плотностью размещения агрегатов, а сортамент труб и покрытий меняются довольно часто, что накладывает некоторые дополнительные требования, такие как, например, низкая тепловая инерционность агрегатов и уменьшение их габаритных размеров.

Для обеспечения высокой равномерности нагрева предполагается создание высокотемпературного поля непосредственно на поверхности обрабатываемого изделия, что достигается за счет использования системы многочисленных факелов, направленных по нормали к поверхности трубы. В целях повышения равномерности температурного поля на поверхности также может организовываться дополнительное вращение заготовки при перемещении через камеру.

Таким образом, в сложившихся обстоятельствах видится перспективным внедрение и использование струйно-факельных печей, не имеющих высокоинерционной футеровки и использующих в качестве теплового ограждения систему экранов, выполненных из соответствующих марок стали [1].

Рабочее пространство разрабатываемого агрегата ограничено перфорированной поверхностью, являющейся необходимым элементом для формирования атакующих струй окислителя. Это диктует необходимость тщательного подбора геометрических характеристик данного элемента таким образом, чтобы при заданных габаритах изделий и технологических параметрах нагрева, область максимального теплового напряжения располагалась как можно дальше от этого конструктивного элемента и в непосредственной близости от поверхности заготовки, что благотворно скажется на интенсификации процесса нагрева.

В данной работе приведено исследование влияния количества и взаимного расположения отверстий, обеспечивающих создания означенных микрофакелов, как решающего фактора для обеспечения заявленных требований.

Расчетная система представлена в виде цилиндрической камеры, функционирующей в режиме водяного калориметра.

При некотором фиксированном расходе окислителя и газообразного топлива можно предположить, что равномерность температурного поля будет тем выше, чем больше будет количество струй окислителя, создающих «тело» микрофакелов. Однако это неизбежно ведет к уменьшению кинетической энергии отдельной струи, отдавая тем самым область высоких температур от нагреваемой поверхности.

Данное предположение было проверено с помощью программно-вычислительного комплекса FloEFD. При моделировании задавались граничные условия на входе и на выходе для газообразного топлива, продуктов сгорания, и воздуха, а также материал теплопередающих труб. Решались следующие уравнения: неразрывности, три уравнения Навье–Стокса, три уравнения модели турбулентности (к-ε), уравнение энергии [2].

На рис. 1 представлены поля температур исследуемых схем перфорации с большим шагом (а) и меньшим шагом (б) для продольного сечения рабочей камеры.

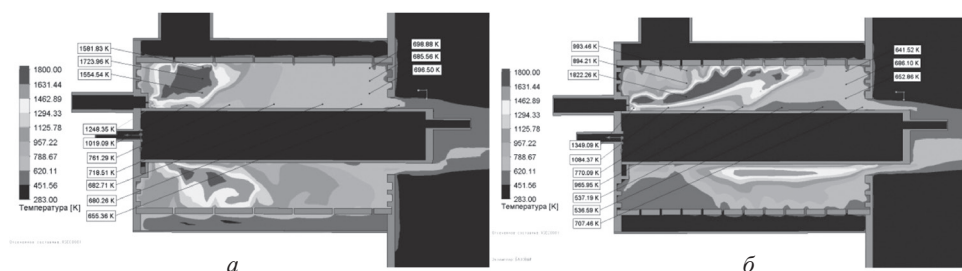


Рис. 1. Поля температур в рабочей камере (продольное сечение):
а – с большим шагом; *б* – с меньшим шагом перфорации

На приведенных изображениях видно, что области высоких температур в рабочей камере установки несколько смещены к перфорированной поверхности, но в зависимости от шага перфорации характер распределения этих областей значительно различается. Так, в случае перфорации с большим шагом, зона высоких температур располагается в той области перфорированной трубы, где ее внешняя поверхность омывается низкотемпературными потоками окислителя наименее интенсивно. В том случае, когда применяется схема с меньшим шагом (рис. 1*б*), характер распределения области высоких температур значительно отличается: эта зона в целом более приближена к перфорированной поверхности, однако имеет большие размеры и, как следствие, дальше отнесена от канала подачи воздуха на горение. Таким образом, критическим недостатком подобного нефутерованного агрегата, в случае использования схемы отопления с меньшим шагом, является недопустимое смещение области максимальных температур к перфорированной поверхности, что объясняется невозможностью «микрофакелов» противостоять сносящему действию струй топлива и движущихся продуктов сгорания.

Единственным путем уменьшения указанного недостатка является изменение расходов топлива и окислителя, однако это приведет к существенному изменению температуры нагреваемой поверхности.

На рис. 2 представлены поля скоростей исследуемых схем перфорации с большим шагом (*а*) и меньшим шагом (*б*) для продольного сечения нагревательной камеры.

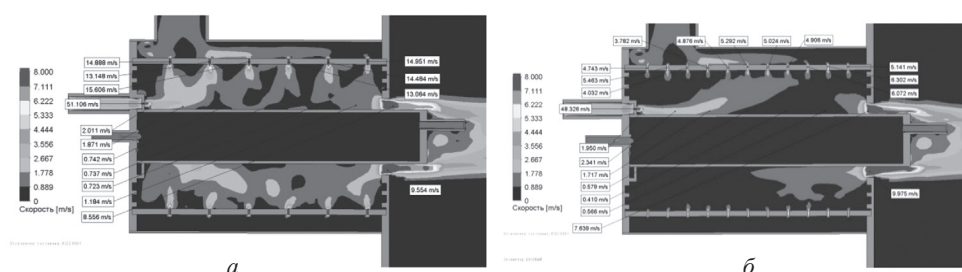


Рис. 2. Поля скоростей в рабочей камере (продольное сечение):
а – с большим шагом; *б* – с меньшим шагом перфорации

При увеличении шага перфорации (рис. 2, *а*) скорости истечения струй закономерно выше, чем в случае, рассмотренном на рис. 2, *б*. Разница скоростей истечения струй окислителя составляет от двух до трех раз, уровень скоростей на поверхности заготовки также повысился почти в 2 раза. Это способствует созданию равномерной области высокой интенсивности теплообменных процессов на поверхности обрабатываемого изделия в том числе за счет системы развитых веерных струй с периферийной турбулентностью.

На рис. 3 представлены поля температур исследуемых схем перфорации с большим шагом (*а*) и меньшим шагом (*б*) на поверхности нагреваемой трубы.

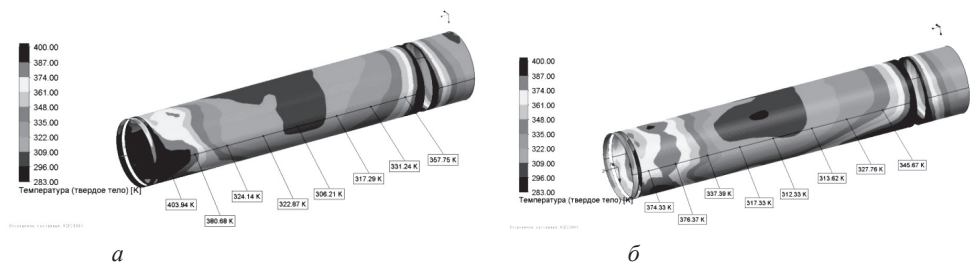


Рис. 3. Поля температур поверхности нагреваемой заготовки:
а – с большим шагом; *б* – с меньшим шагом перфорации

Относительно низкий уровень значений температур по поверхности в обоих случаях обусловлен охлаждающим влиянием потока воды, подаваемой по нагреваемой трубе.

Следует отметить, что характер температурного распределения на поверхностях труб рассматриваемых схем можно считать сходным. Однако средняя по поверхности температура для случая 3, *а* все же несколько выше, чем для случая 3, *б*.

На рис. 4 представлены распределения плотностей тепловых потоков для исследуемых схем перфорации с большим шагом (*а*) и меньшим шагом (*б*) на поверхности трубы.

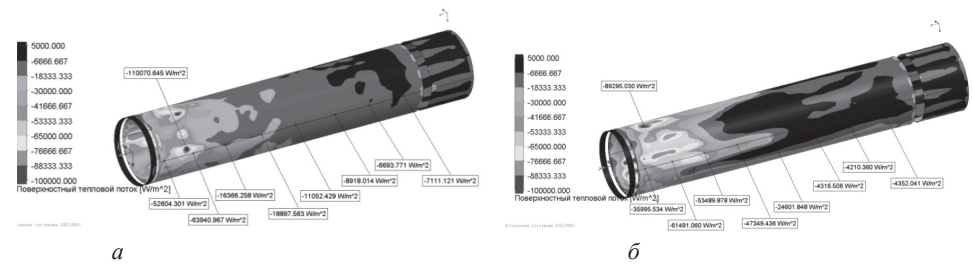


Рис. 4. Поля плотностей тепловых потоков на поверхности нагреваемой трубы:
а – с большим шагом; *б* – с меньшим шагом перфорации

Распределение тепловых потоков по поверхности нагреваемого изделия в обоих случаях имеет свои особенности. Для варианта с большим шагом характерны более высокие значения локальных плотностей тепловых потоков, величина которых также более линейно убывает по длине основной части поверхности нагреваемой трубы. Однако анализ программными средствами показал, что среднее значение плотности теплового потока по поверхности изделия выше для перфорации с меньшим шагом.

Исходя из приведенных выше результатов можно сделать следующие выводы.

Средние численные значения исследуемых величин примерно одинаковы для обоих рассмотренных случаев, однако для схемы перфорации с большим шагом характерны повышенная равномерность их распределения по поверхности нагреваемого изделия и увеличенная площадь области более высоких температур. Таким образом, именно эта схема значительно пригоднее для применения в нефутерованном нагревательном агрегате с экраным тепловым ограждением.

Список использованных источников

1. Курносов В.В. и др., Патент № 2251579, «Способ факельного воздушно-струйного нагрева изделий и устройство для его реализации (варианты)». Приоритет 01.10.2002 г.
2. Руководство пользователя программно-вычислительного комплекса FloEFD. Mentor Graphics, 2013.